

KERUSAKAN UNIT LAPIS LINDUNG BREAKWATER AKIBAT GELOMBANG ACAK SPEKTRUM BRETSCHNEIDER

Sriyana¹

Abstract: Breakwater as coast structure is used for protecting harbor or other coast structure caused by attacked. One of coast structure is breakwater with the breakwater type structure angle side, where is, the out of layer is protected with armour layer contain of rubblemound of stone, tetrapod, cube, dolos, or kinds of other armour layer, where is, happened damage caused by wave attack. The objective of this study is to know the presentage of breakwater armour layer damage caused by irregular wave, with Bretschneider spectrum. The method which be used in this study is physical model. This study was done in the pool length 55 meters, with 20 meters, and height 1,25 meter. But for this experiment used width of pool 12 meter and depth 35 cm, angle direction vertically to breakwater. Armour layer which is studied contain tetrapod, cube and a mound stone. The weight of armour layer is calculated with Hudson formula. Running application is applied three times with the wave attack duration was 18.5 minutes, or about 1000 number waves. The experiment result with irregular wave, Bretschneider spectrum showed that sensor in front of the breakwater is got wave height of maximum (H_{max}) 20.56 cm, wave height of significant (H_s) 11.04 cm, and wave height of average (average) 6.84 cm and the number of wave 1065 waves. While the damage percentage is, the tetrapod armour layer 1.38%, cube 0.83 % and broken stone 1.61 %.

Keywords: armour layer, Bretschneider spectrum, damage percentage, irregular wave

I. PENDAHULUAN

Kegagalan suatu bangunan lapis lindung breakwater dapat ditinjau dari aspek perencanaan, aspek konstruksi dan aspek lingkungan. Perencanaan struktur bangunan pemecah gelombang (breakwater) harus memenuhi kestabilan dari gaya yang menyeranginya. Dalam menganalisis stabilitas lapis lindung breakwater ada beberapa variabel atau parameter penting yang harus diperhatikan, diantaranya kedalaman air, prosentase kerusakan, percepatan gravitasi, tinggi gelombang, karakteristik dimensi unit lapis lindung, kecepatan air, sudut kemiringan struktur, sudut gelombang datang, bentuk unit lapis lindung, kemiringan dasar, panjang gelombang, viskositas dinamik, kekasaran permukaan unit lapis lindung, rapat massa unit lapis lindung, dan rapat massa air laut (Hudson dkk, 1979).

Disamping parameter diatas stabilitas lapis lindung juga dipengaruhi tipe gelombang yang menyeranginya. Gelombang yang menyerang bisa gelombang tidak pecah dan gelombang pecah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosentase kerusakan akibat gelombang acak terhadap stabilitas lapis lindung breakwater. Lapis lindung breakwater yang diteliti terdiri dari tetrapod, kubus dan tumpukan batu. Pemilihan jenis lapis lindung ini dikarenakan ketiga lapis lindung tersebut banyak digunakan untuk pengamanan pantai atau pelabuhan di Indonesia. Manfaat penelitian ini antara lain hasil penelitian bisa digunakan sebagai referensi untuk merencanakan lapis lindung breakwater.

Penelitian di lakukan di Kolam gelombang BPDP – BPPT Yogyakarta. Kolam gelombang yang digunakan berukuran panjang 55 m, lebar 20 m dan tinggi 1.25 m dengan tinggi air

¹ Jurusan Sipil - Fakultas Teknik , Universitas Diponegoro

maksimum 40 cm. Untuk percobaan ini digunakan dengan lebar kolam 12 m dan kedalaman air 35 cm. Arah datang gelombang tegak lurus breakwater

II. KAJIAN PUSTAKA

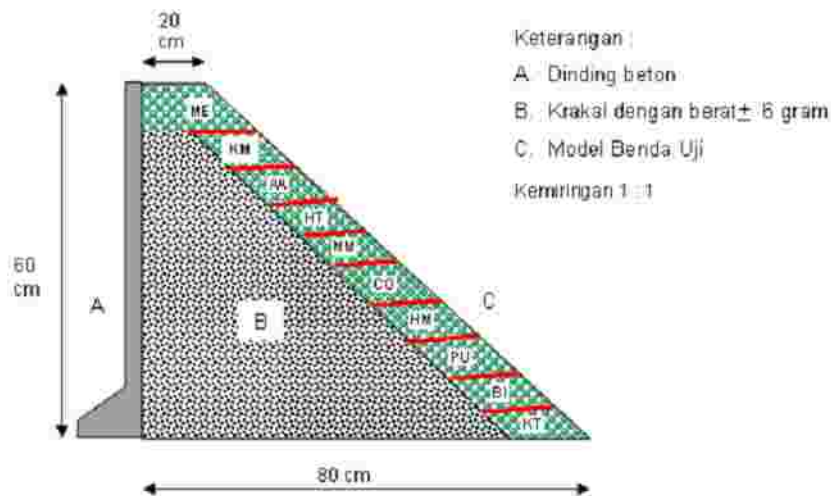
2.1. Teori gelombang

Gelombang Reguler adalah gelombang yang mempunyai tinggi dan periode gelombang yang tetap terhadap waktu. Sedang gelombang

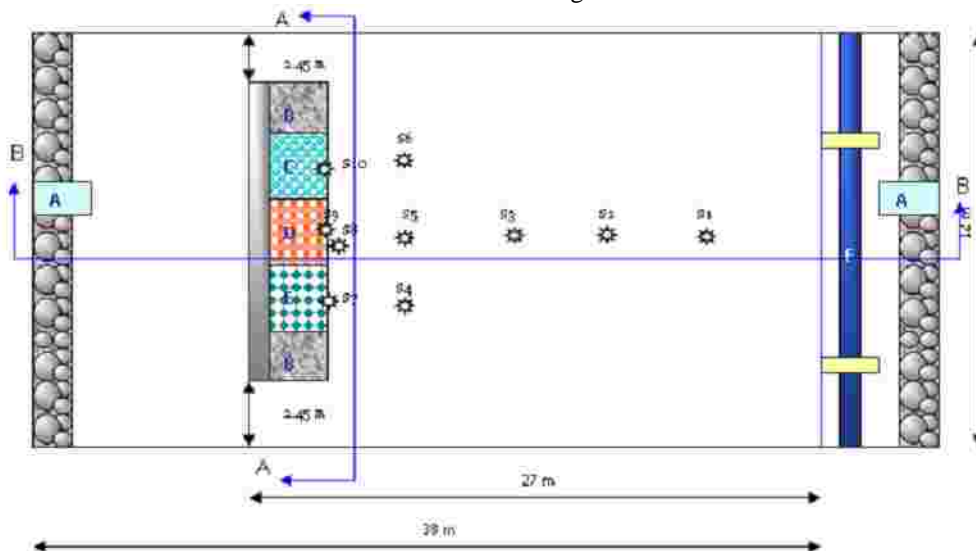
Ireguler adalah gelombang yang mempunyai tinggi dan periode gelombang yang berubah terhadap waktu. Gelombang irreguler dapat diklasifikasikan kedalam spektrum tertentu, yang tergantung dari tinggi dan periode gelombangnya. Berbagai spektrum gelombang yang ada antara lain Spektrum Bretschneider, Jonswap, Goda, dan lain-lain.

Airy (1845) memperkenalkan teori gelombang amplitudo kecil (small amplitude wave theory)

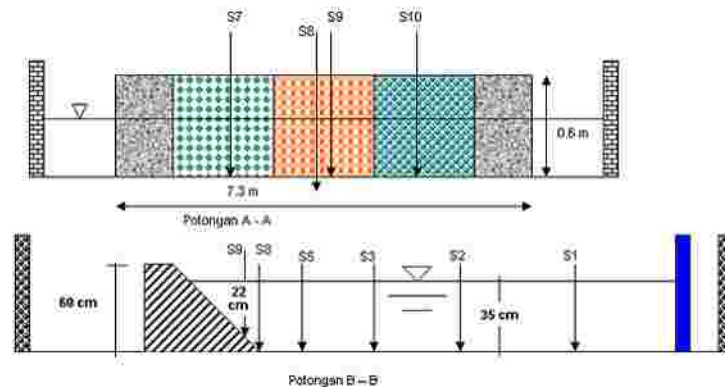
A. Kemiringan 1 : 1



Gambar 1. Tampak samping pemecah Gelombang



Gambar 2. Denah sensor pemecah gelombang dengan sudut datang gelombang 0°



Gambar 3. Potongan melintang dan memanjang

Keterangan :

Breakwater tegak lurus arah gelombang

A Peredam gelombang

B Batu pecah bebas masing-masing lebarnya 1 m

C Model benda uji batu pecah lebarnya 1.7 m

D Model benda uji kubus lebarnya 1.7 m

E Model benda uji tetrapod lebarnya 1.7 m

F Pembangkit gelombang (*wave generator*)

S1..n Sensor 1 sampai sensor ke n

untuk menghitung parameter – parameter gelombang.

Rumus – rumus berdasarkan Teori gelombang amplitudo kecil adalah sebagai berikut :

Persamaan Dispersi

$$t^2 = gk \tanh kh \dots\dots\dots(1)$$

Kecepatan gelombang

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \dots\dots\dots(2)$$

Panjang gelombang

$$L = \frac{g}{2p} T^2 \cdot \tanh \frac{2ph}{L} \dots\dots\dots(3)$$

2.2. Spektrum Bretschneider

Bretschneider (1959) mengusulkan spektrum yang didasarkan pada periode dan tinggi gelombang rata-rata sebagai berikut :

$$Sf(f) = 0.43 \left[\frac{H^*}{gT^{*2}} \right]^2 \frac{g^2}{f^5} \exp \left\{ -0.675 \left(\frac{1}{T^* f} \right)^4 \right\}$$

Sf = densitas energi

H^* = tinggi gelombang rata-rata

T^* = periode gelombang rata - rata

g = percepatan gravitasi

f = frekwensi

2.3. Formula Stabilitas Lapis Lindung

Menurut Hudson (1984) , untuk menghitung berat butir lapis lindung digunakan rumus berikut :

$$W = \frac{g_a \cdot H^3}{K_D \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \text{ctg } q} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

W = berat satu jenis lapis lindung (ton)

γ_r = berat jenis unit lapis lindung (ton/m³)

γ_a = berat jenis air laut (ton/m³)

H = tinggi gelombang rencana (m)

KD = koefisien yang tergantung dari karakteristik unit lapis lindung

$$Sr = \frac{g_r}{g_a} \dots\dots\dots(5)$$

θ = sudut miring sisi muka pemecah gelombang dengan bidang horizontal

F. Abecasis dan C. Pita (Proceedings of the twenty – third international conference) Civil Engineering 1992, mengelompokkan tingkat kerusakan kedalam tujuh kelompok, dari klasifikasi hampir tidak ada sampai klasifikasi kerusakan hancur. Klasifikasi tersebut seperti pada tabel 1, dibawah ini .

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium kolam gelombang Balai Pengkajian Dinamika Pantai di bawah instansi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Yogyakarta.

Peralatan Penelitian

Tabel 1. Klasifikasi Kerusakan

Klasifikasi Kerusakan	Diskripsi Kerusakan
Hampir tidak ada	0.1% dari seluruh jumlah unit lapis lindung dalam daerah yang ditinjau telah pindah tempat
Sangat sedikit	Lebih kurang 2% dari seluruh unit lapis lindung telah pindah tempat.
Sedikit	Lebih kurang 3% dari seluruh unit lapis lindung telah pindah tempat.
Sedang	Lebih kurang 5% dari seluruh unit lapis lindung telah pindah tempat
Banyak	Tampak bukaan kecil dalam lapisan primer Lebih kurang 7% dari seluruh unit lapis lindung telah pindah tempat
Serius	Tampak bukaan besar dalam lapisan primer Lapisan primer yang telah pindah tempat meliputi daerah yang luas. Inti pemecah gelombang tampak
Hancur	Lapisan pelindung yang telah berpindah tempat meliputi bidang yang luas. Inti pemecah gelombang telah mengalami kerusakan.

1. Kolam gelombang ukuran 55 m x 20 m x 1.25 m dengan kedalaman air max 0.4m.
2. Pembangkit gelombang (wave generator), yang bisa membangkitkan gelombang reguler maupun irreguler.
3. Sensor gelombang
4. Capacitance type wave height meter
5. Lampu dengan kekuatan 1000 w.

Skala Model

Penentuan besarnya skala model dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Untuk memproduksi gelombang dengan periode dan tinggi gelombang yang cukup besar, agar secara kualitatif dapat mencerminkan keadaan prototipe secara baik,
2. Fasilitas dan material yang tersedia untuk uji model.

Dalam penelitian Stabilitas Unit Lapis Lindung Breakwater akibat gelombang acak (irregular wave), similaritas (kesebangunan) dinamik antara model dan prototipe banyak dipengaruhi oleh gaya gravitasi, maka kriteria yang dipakai adalah bilangan Froude (Fr).

$$Fr = \frac{(rL^3)(U^2 / L)}{r g L^3} = \frac{U^2}{gL} \dots\dots\dots (6)$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}} \dots\dots\dots (7)$$

Fr = bilangan Froude

U = kecepatan (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt)

L = panjang spesifik (m)

ρ = rapat massa (kg/m³)

Besarnya skala pada penelitian ini, seperti pada tabel berikut (tabel 2):

Perbandingan antara parameter di lapangan dan di model seperti pada tabel berikut (tabel 3.).

Desain Pemecah Ombak dan Skema Perletakan Sensor

Secara garis besar bentuk desain breakwater adalah sebagai berikut (gambar 1) :

I. Tampak Samping Detail Breakwater

Perhitungan Unit Lapis Lindung

Perhitungan unit lapis lindung baik tetrapod, kubus maupun batu pecah didasarkan pada persamaan Hudson. Hasilnya seperti tabel 5. berikut :

Tabel 2.Skala model

Item	Simbol	Skala
Skala panjang spesifik	n_L	1 : 65
Skala kedalaman air	N_d	1 : 65
Skala tinggi gelombang	n_H	1 : 65
Skala percepatan	$n_a = n_g$	1 : 65
Skala kecepatan	$n_v = \sqrt{n_L}$	1 : 8.06
Skala waktu	$n_t = n_v = \sqrt{n_L}$	1 : 8.06
Skala periode gelombang	$n_T = n_v = \sqrt{n_L}$	1 : 8.06
Skala berat lapis lindung	$n_w = n_L^3$	1 : 274625

Jumlah Lapis Lindung untuk Tetrapod sebanyak 2305 , untuk kubus 1121, sedang untu batu pecah 1197. Kedalamam air di kolam gelombang 0.35m

Batasan dan Rancangan Penelitian

Batasan Penelitian adalah sebagai berikut:

- Gelombang datang tegak lurus Breakwater
- Gelombang irreguler dengan spektrum Bretschneider

Tabel 4. Perbandingan antara dimensi di Lapangan dan di Model

Item	Model	Lapangan
Kedalaman air	0.35 m	22.75 m
Tinggi gelombang	0.12 m	7.8 m
Periode	1.1 detik	8.866detik
Berat tetrapod	66 gram	18.13 ton
Berat Kubus	234 gram	64.26 ton
Berat Batu Pecah	170 gram	46.69 ton

- Input Tinggi gelombang H_s dan periode gelombang T_s tertentu ($H_s = 12$ cm dan $T_s = 1.1$ detik)
- Kedalaman air ditentukan 0.35 m
- Lapis lindung yang diteliti tetrapod , kubus dan batu pecah dengan penentuan berat lapis lindung berdasarkan rumus Hudson
- Kemiringan struktur breakwater 1 : 1
- Durasi serangan gelombang 18.5 menit (sekitar 1000 gelombang)

Berdasarkan batasan penelitian tersebut dibuat rancangan penelitian sebagai berikut (tabel 6) :

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi dan Periode Gelombang

Bentuk gelombang irreguler spektrum Bretschneider , dengan Input di komputer dengan $H_s = 12$ cm dan $T_s = 1.1$ detik , $d = 35$ cm adalah seperti pada gambar berikut (gambar 6) :

Dari grafik terlihat bahwa gelombang irregular terdiri dari gelombang-gelombang dengan tinggi dan periode yang berbeda. Dari grafik tersebut juga terlihat beberapa gelombang mempunyai tinggi lebih besar dari 12 cm.

Durasi serangan gelombang selama 18.5 menit. Jumlah gelombang secara lengkap untuk sensor 1 (dekat wave generator) dan sensor 9 (depan breakwater) dengan gelombang irreguler disajikan pada tabel 9 di bawah ini :

Irreguler

bentuk spektrum Bretschneider yang terjadi pada sensor gelombang adalah sebagai berikut (gambar 7):

Prosentase kerusakan Tetrapod, Kubus dan batu Pecah akibat serangan gelombang irreguler seperti grafik berikut (gambar 8).

Perhitungan untuk mencari nilai prosentase kerusakan rerata seperti pada tabel 11 berikut :

Pada percobaan dengan gelombang irreguler, prosentase kerusakan terhadap 7 daerah (7 warna) untuk tetrapod 1.98 % , kubus 1.19 % , dan batu pecah 2.3 %.

Pada percobaan dengan gelombang irreguler, prosentase kerusakan terhadap jumlah total untuk tetrapod 1.38 % , kubus 0.83 % , dan batu pecah 1.61 %.

Tabel 5. Perhitungan Berat unit lapis lindung dengan persamaan Hudson

Lapis lindung	Gama r (T/m ³)	H (m)	KD
Tetrapod	2.4	0.093	7
Kubus	2.4	0.093	2
Batu pecah	2.6	0.093	2

lapis lindung	SR	cot alfa	W Gram
Tetrapod	1.4	1.5	67
Kubus	1.4	1.5	234
Batu pecah	1.6	1.5	170

Tabel 6. Rancangan Penelitian Stabilitas Unit Lapis Lindung Pemecah Ombak akibat Gelombang acak.

No.	DU RASI	Hs	Ts
	menit	(cm)	(detik)
P-REG-1 P-REG-2 P-REG-3 P-IRREG-1 P-IRREG-2 P-IRREG-3	18.5	12	1.1
	18.5	12	1.1

Tabel 9. hasil gelombang irreguler

Sen sor	Dlm (m)	JmlGel (buah)	Hmax (m)
1	0.35	1065	0.2056
9	0.22	1065	0.2056

Sen sor	H33 (m)	T33 (detik)	Hrata (m)	Trata (detik)
1	0.111	1.13	0.072	1.00
9	0.1104	1.24	0.0684	1.12

PEMBAHASAN

Kerusakan lapis lindung

Hasil rerata prosentase kerusakan lapis lindung dalam bentuk grafik seperti pada grafik berikut (gambar 9):

Berdasarkan klasifikasi kerusakan menurut F.Abecasis dan C. Pita maka untuk Prosentase kerusakan terhadap daerah 7 warna, baik

percobaan P-REG1, P-REG-2,P-REG-3,P-IRREG-1,P-IRREG-2, dan P-IRREG-3 semuanya kurang dari 3 % dan diklasifikasikan

Tabel 11. Prosentase kerusakan rerata (Irreguler)

Kode	Tetrapod Jumlah	% 7 Warna	% Total
P-IRREG-1	2305	2.29	1.61
P-IRREG-2	2305	1.80	1.26
P-IRREG-3	2305	1.80	1.26
% Rerata		1.96	1.38
Berat total (gram)	154435		

Kode	Kubus Jumlah	% 7 Warna	% Total
P-IRREG-1	1121	1.66	1.16
P-IRREG-2	1121	0.89	0.62
P-IRREG-3	1121	1.02	0.71
% Rerata		1.19	0.83
Berat total (gram)	262314		

Kode	batu pecah Jumlah	% 7 Warna	% Total
P-IRREG-1	1797	3.41	2.39
P-IRREG-2	1797	2.22	1.56
P-IRREG-3	1797	1.27	0.89
% Rerata		2.30	1.61
Berat total (gram)	310881		

antara **Klasifikasi Hampir Tidak Ada** sampai **Klasifikasi Sedikit** . Kerusakan yang paling besar terjadi pada lapis lindung batu pecah, setelah itu pada lapis lindung tetrapod dan yang paling kecil pada kubus. Secara umum kerusakan akibat gelombang reguler lebih besar dibanding kerusakan akibat gelombang irreguler.

Berdasarkan klasifikasi kerusakan menurut F.Abecasis dan C. Pita maka untuk Prosentase kerusakan terhadap daerah Total (10 warna), baik percobaan P-REG-1, P-REG-2,P-REG-3,P-IRREG-1,P-IRREG-2, dan P-IRREG-3

Tabel 13. Energi Gelombang (Irregular)

Sen sor	Hrata (m)	Trata (det)	L (m)	C (m/det)
1	0.072	1.00	1.42	1.43
9	0.0684	1.12	1.45	1.3

Sen sor	G m/det ²	rho Kg/m ³	JmlGel buah	Energi Total Kg.m/det ²
1	9.81	1025	1065	9853.85
9	9.81	1025	1065	9080.98

semuanya kurang dari 2 % dan diklasifikasikan antara **Kasifikasi Hampir Tidak Ada** sampai **Klasifikasi Sangat Sedikit** . Kerusakan yang paling besar terjadi pada lapis lindung batu pecah, setelah itu pada lapis lindung tetrapod dan yang paling kecil pada kubus. Secara umum kerusakan akibat gelombang reguler lebih besar dibanding kerusakan akibat gelombang irregular.

Pengaruh gelombang Irregular

Prosentase kerusakan lapis lindung akibat gelombang acak, terjadi karena hal-hal berikut

1. Jumlah Gelombang yang menyerang

Berdasarkan hasil percobaan pada sensor 9 (depan breakwater) terlihat bahwa jumlah gelombang yang menyerang pada lapis lindung breakwater untuk durasi yang sama 18.5 menit , jumlah gelombang akibat spektrum Bretschneider sebanyak 1065. Berdasarkan jumlah gelombang , maka gelombang ireguler bretschneder pada penelitian ini memberikan pengaruh lebih besar terhadap jumlah kerusakan pada lapis lindung.

2.Perbedaan Energi Gelombang dan Tenaga Gelombang

Energi dan tenaga gelombang berdasarkan teori gelombang Airy dirumuskan sebagai berikut :

Rumus Energi Gelombang :

$$E = \frac{r \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{8} \dots\dots\dots(8)$$

Rumus Tenaga Gelombang :

$$P = \frac{n \cdot E}{T} \dots\dots\dots(9)$$

Berdasarkan kedua rumus tersebut , besarnya Energi dan Tenaga gelombang Total dipengaruhi oleh Tinggi gelombang , Periode dan Panjang gelombang serta jumlah gelombang.

Berdasarkan serangan gelombang selama 18.5 menit , jumlah energi gelombang total gelombang acakr disajikan di bawa=h ini. . Tinggi Gelombang untuk perhitungan adalah tinggi gelombang rerata.

IRREGULER

Sensor 1:

Hmax = 20. 56 cm
Hs = 11.1 m
Ts =1.13
Hrata = 7.2 cm
Trata = 1 detik
L = 142 cm
C = 1.43 m/det
N gel = 1065

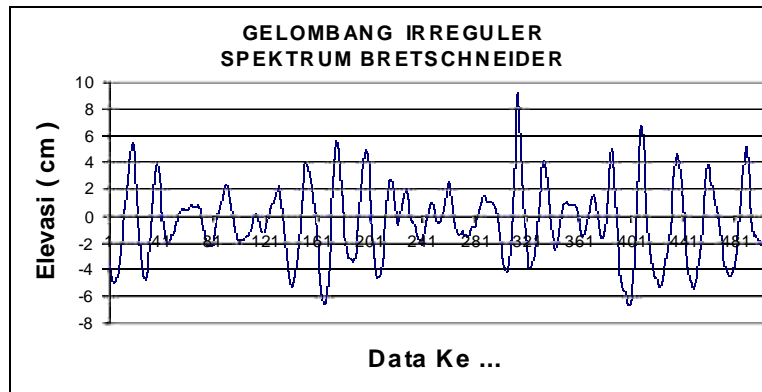
Sensor 9

Hmax = 20.56m
Hs = 11.04 m
Ts =1.24
Hrata = 6.84 m
Trata = 1 .12detik
L = 1.45 m
C = 1.3 m/det
N gel = 1065

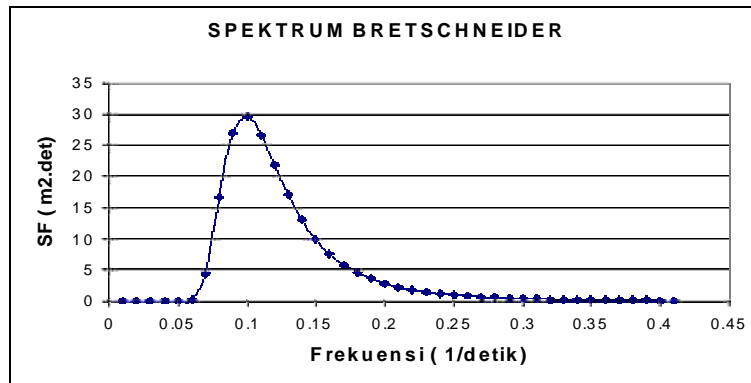
Berdasarkan tabel 13 di atas , pada sensor 9 jelas bahwa tinggi gelombang rerata (Hrata) gelombang acak yaitu 0.0684 m. Jumlah gelombang acak 1065, Total energi gelombang acak (irregular wave) adalah 9080.98 Kg.m/det². Tenaga total akibat gelombang acak(irregular wave) spektrum bretschneder, akan menyebabkan kerusakan, semakin besar tenaga yang ditimbulkan, maka semakin besar kerusakan yang terjadi.

Berdasarkan hasil percobaan, maka Hmaks pada gelombang irregular lebih besar dari Hmaks pada gelombang reguler (20.46 cm dibanding 14,55 cm), sehingga run up dan run down terbesar terjadi pada gelombang Hmaks 20.46 cm.

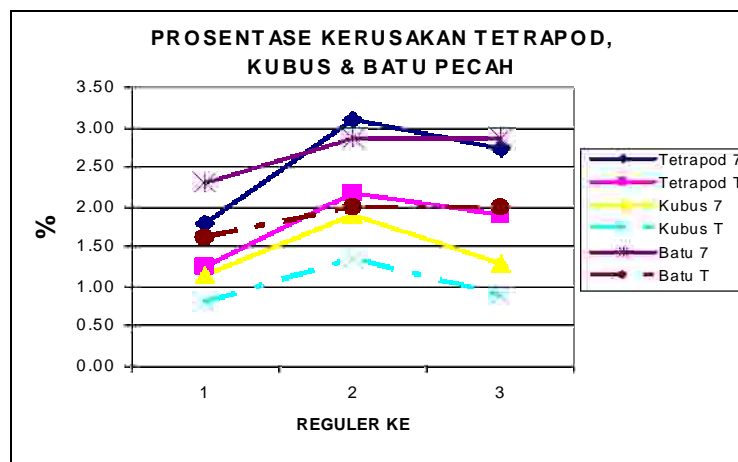
Gelombang inilah yang menyebabkan kerusakan terbesar, tetapi karena pada percobaan reguler gelombang besar lebih



Gambar 6. Contoh Gelombang Irreguler hasil percobaan



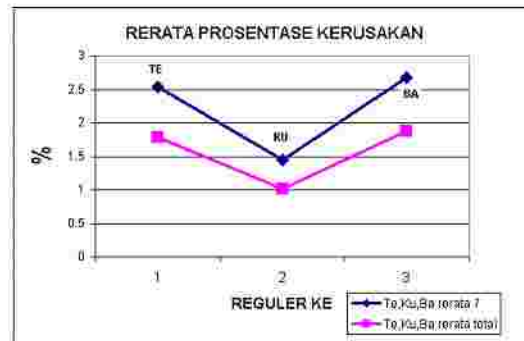
Gambar 7. Spektrum Bretschneider



Gambar 8. Prosentase kerusakan lapis lindung (irreguler)

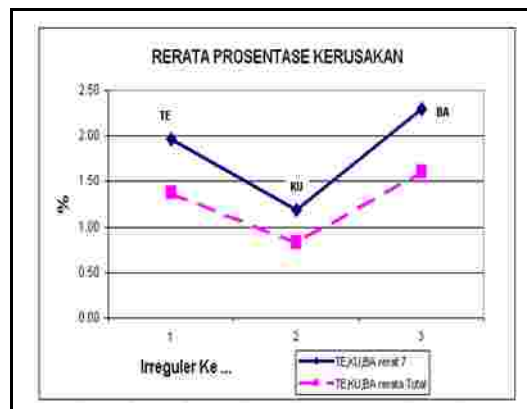
banyak dari gelombang irreguler, maka secara keseluruhan dalam durasi 18.5 menit , prosentase kerusakan lapis lindung akibat

gelombang reguler lebih besar daripada akibat gelombang irreguler.



Keterangan :
TE=tetrapod,KU=Kubus,BA = Batu Pecah

Gambar 9. Prosentase rerata kerusakan lapis lindung (reguler)



Gambar 10. Prosentase rerata kerusakan lapis lindung (reguler)

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

- Dalam percobaan ini (sensor 9), untuk gelombang acak (irreuguler wave) spektrum Bretschneider, tinggi gelombang signifikan (H_{33} atau H_s) sekitar 1.61 kali tinggi gelombang rerata (H_{100}).
- Jumlah total energi dan tenaga gelombang reguler selama running (18.5 menit) lebih besar jika dibandingkan jumlah total energi dan tenaga gelombang irreguler spektrum Bretschneider. Tetapi beberapa gelombang pada spektrum bretschneder , tingginya lebih besar dari tinggi rerata gelombang reguler.
- Pada percobaan dengan gelombang irreguler, prosentase kerusakan terhadap jumlah total untuk tetrapod 1.38 % , kubus 0.83 % , dan batu pecah 1.61 %.
- Berdasarkan hasil percobaan , terlihat bahwa semakin tinggi gelombang rerata (Hrata) maka kerusakan lapis lindung tetrapod, kubus dan batu pecah akan semakin banyak.,
 - Jumlah serangan gelombang dan tinggi run up dan run down juga mempengaruhi besarnya prosentase kerusakan, tetapi khusus dalam penelitian ini dan dalam durasi serangan gelombang yang sama (18.5 menit) yang paling dominan mempengaruhi prosentase kerusakan adalah Hrata, dimana Hrata makin besar kerusakan juga makin besar.

Saran

Perlu dilakukan penelitian dengan berbagai variasi H_s dan T_s yang lebih banyak baik dengan gelombang acak (irreguler wave), sehingga ditentukan hubungan antara berbagai H_s dan T_s dengan prosentase kerusakan.

Fluid Mechanics, Vol. 148, 1984, pp. 73-96.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center, *Shore Protection Manual*, Vol. II, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1984.

DAFTAR PUSTAKA

Battjes, J. A., "Surf Similarity," *Proceedings of 14th Coastal Engineering Conference*, ASCE, Vol. 1, 1974, pp. 466-480.

Bruun, P., *Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection*, Elsevier, New York, N.Y., 1985.

Dean, R. G., and Dalrymple, R. A., *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1984.

Günbak, A. R., "The Stability of Rubble Mound Breakwaters in Relation to Wave Breaking and Run-down Characteristics and to the $\gamma = \tan \alpha T / \sqrt{H}$ Number," *Report No. R1-1976*, Division of Port and Ocean Engineering, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, 1976.

Horikawa, K., *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, University of Tokyo Press, Japan

Kobayashi, N., Closure to "Riprap Stability under Wave Action," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 6, Nov., 1986, pp. 673-681

Otta, A. K., "Prediction of Riprap Stability on Rough Slopes," thesis presented to the University of Delaware, at Newark, Delaware, in 1986, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Civil Engineering.

Svendsen, I. A., and Jonsson, I. G., *Hydrodynamics of Coastal Regions*, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1980.

Svendsen, I. A., and Madsen, P. A., "A Turbulent Bore on a Beach," *Journal of*